



解 説

島根県温泉津温泉の地質構造

西村 進^{1)*}, 益子 保²⁾, 國清智之³⁾, 花本孝一郎³⁾

(平成 26 年 5 月 21 日受付, 平成 26 年 6 月 5 日受理)

Geological Structure of Yunotsu Hot Spring, Shimane Prefecture Japan

Susumu NISHIMURA^{1)*}, Tamotsu MASHIKO²⁾, Tomoyuki KUNIKIYO³⁾
and Koichiro HANAMOTO³⁾

Abstract

Motoyu hot spring, which was founded about 1,300 years ago, and Furui-yu (Yakushiyu), which was gushed out after a big 1872 Hamada earthquake, are situated at the Yunotsu in the western part of Shimane Prefecture. These springs have been gushed out along faults, and these springs are almost the same conditions as the founded times, and have almost same chemical composition, including some mantle materials.

Some welded tuffs were filled in a cauldron within the 18-14Ma, of which ages were opening time of the Japan Sea. At these times, almost lower part of earth-crust has been re-melted, which makes some acidic rock materials. Yunotsu hot spring's water has been included some super critical water materials from the subducted Philippine Sea plate.

This report is a discussion on the geological structure of Yunotsu hot springs, on the point of geological and geophysical views.

Key words : Yunotsu hot spring, cauldron, Philippine Sea Plate. 1

要 旨

温泉津温泉は 1300 年以上の歴史を持つ元湯と、その近くの亀裂から明治 5 (1872) 年浜田地震 (M7.1) のときに湧出した薬師湯 (震湯) の 2 泉源を指す。この 2 泉源とも現在もほぼ元のままの湧出状況が維持されている。これらは非火山性の温泉で含有成分からみて、マント

¹⁾ 特定非営利活動法人シンクタンク京都自然史研究所 〒606-8305 京都市左京区吉田河原町 14 番地, 近畿地方発明センター内。 ¹⁾ NPO Think-Tank Kyoto Institute of Natural History Yoshida-Kawaramachi 14, Kinnkichiho Hatsume Center, Sakyou-ku, Kyoto 606-8305, Japan. *Corresponding author : E-mail tkinh-ni@vega.ocn.ne.jp, TEL 075-761-2625, FAX 075-761-2544.

²⁾ 公益財団法人中央温泉研究所 〒171-0033 東京都豊島区高田 3 丁目 42 番 10 号。 ²⁾ Hot Spring Research Center Takada 3-chome, 42-10, Toshimaku, Tokyo 171-0033, Japan.

³⁾ 株式会社ワールド測量設計 〒699-0631 島根県出雲市火側斐川町直江 4606-1。 ³⁾ World Survey and Design Co., Ltd. Naoe 4606-1, Hikawacho, Izumo, Shimane Pref., Japan.

ルの成分を僅かに含んでいる。

コールドロン（酸性の火山活動でできたカルデラや円形の陥没地）を溶結凝灰岩（K-Ar 年代 フィッション・トラック年代が18~14 Maを示す）が埋めその中に貫入した流紋岩質岩脈に沿って湧出している。この溶結凝灰岩の生成年代は日本海の生成の時にあたり、この流紋岩質岩脈類は下部地殻の再溶融の産物であると推定できる。温泉津温泉は沈み込むフィリピン海プレートの最先端の蛇紋岩類の脱水（超臨界流体）がマントルや地殻下部の成分を溶かし、地殻上部の伏流水によって薄められた産物と考えられる。これらのことを地質学的・地球物理学的な検討をもとに、温泉津温泉の湧出構造を検討した。

キーワード：温泉津温泉, コールドロン, フィリピン海プレート

1. はじめに

温泉津温泉は、昭和52年7月6日~8日 第30回日本温泉科学会大会（会長豊田英義）の開催地である。その時の特別講演「島根県温泉の化学」野口喜三雄（1977）によると、元湯は51.0℃、震湯（藤の湯、さらに現在“薬師湯”と名付けられている）は47.7℃で両者とも含有成分は類似している。これらの泉源に最も近い掘削井の小浜の湯は32.0℃で、その成分は元湯の成分によく似ている（Table 1）。元湯と震湯は自然湧出のまま利用されている。元湯は元湯温泉主伊藤家の家譜によると弘治元年（1555）に、伊藤重佐が毛利元康から湯主として許されているとあるので、非常に古くから、現在に近い状況で自然湧出していると考察される。

震湯（藤の湯、現在は薬師湯）は明治5年（1872）2月6日「浜田地震」のときに、現在の位置

Table 1 Temperature, pH and concentration of major elements of Yunotsu hot springs (Noguchi, 1977).

泉源名	元湯	震湯（薬師湯）	小浜
湯温（℃）	51.0	47.7	32.0
pH	6.2	6.1	6.1
成分（mg/l）			
Na	1990	1910	1810
K	70.0	69.5	68.0
Li	2.17	2.15	2.03
Ca	452	501	519
Mg	104	80.4	44.7
Fe	3.5	3.9	4.0
Cl	2912	2827	2696
Br	8.65	8.39	7.94
I	0.05	0.0	0.05
SO ₄	999	942	915
H ₂ S	0.2	0.4	0.0
As	1.14	1.60	1.24
HBO ₄	43	41.5	40
CO ₂	752	841	936

の岩盤の割れ目に勢いよく湧出した。理科年表 (2012) によると、浜田地震は 2 月 6 日、35.15°N、132.1°E を震源とし M7.1 と推定される。浜田では、1 週間ほど前から鳴動があり、当日には前震もあったと伝える。全壊約 5,000 棟、死約 550 人とあり、特に石見東部で被害が多かった。海岸沿いに数尺の隆起・沈降がみられ、小津波があった。このような湧出の状態が昔から殆ど変ることなく守られている温泉は、非常に稀な例である。学会のエクスカージョンの説明の記に「浜田地震 (豊ヶ浦が隆起した) の際、津波の引いた後に震湯が発見された」(豊田, 1977) ともある。

金原 (1992) によると、「温泉津・江津」図幅内には、温泉津、小浜、湯迫、湯谷、下谷、南山、波積本、郷、上津井の各温泉がある。このうち、温泉津温泉、小浜温泉以外の各温泉は温度が 25°C 以下で、いずれも Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- などを成分とする弱酸性ないし弱アルカリ性泉である。しかし、温泉津温泉と泉質が同じであるものは温泉津温泉の周辺 (Fig. 1) に限られる。

一方、広島に投下された原子爆弾の負傷者延べ約 100 名が元湯で療養されたようにやけどによく効くと伝える。

今回はこの街で、下水道工事が計画され、自然湧出の元湯や震湯に影響を与えないように工法等について検討する機会を与えられた。

この地方のコールデロンの研究で日本海の生成を論じた故松田高明 (熊本大学) が 1983 に京都大学に提出した博士論文 (Matsuda, 1983) により、筆者の一人西村が非常に興味をおぼえたところであり、この温泉津の温泉の湧出の構造を他の筆者とともに現地調査し、今回まとめることが出来た。

2. 温泉津温泉とその周辺の湧泉

(株)ワールド測量設計が平成 19 年に調査している資料を参考に平成 25 年 4 月 8~11 日に現地調査を行った。近辺の温泉・冷鉱泉をまとめると、次のようになる (Fig. 1)。

① 元湯

弘治元年 (1555) 頃、伊藤重佐が泉源を開いた。泉質はナトリウム・カルシウム—塩化物泉、温度 49.5°C、湧出量 42 l/分

② 薬師湯

明治 5 年 (1872) 浜田地震の際に湧出した。泉質はナトリウム・カルシウム—塩化物・硫酸塩泉、温度 46.0°C、湧出量は不明。昭和 29 年 (1954) 町営温泉「藤の湯」になり、旅館へ分湯のため動力装置を設置、その時元湯の湧出量が激減したため訴訟となり、昭和 48 年 (1973) に結審。昭和 46 年 (1971) 所有者である内藤氏に返還され、平成 16 年 (2004) 「薬師湯」に改める。

③ 小浜温泉

明治 5 年 (1872) 浜田地震の時湧出、泉質はナトリウム—塩化物・硫酸塩泉、温度 26.4°C、湧出量 5 l/分。その後、大正 7 年 (1918) 7 月旅館建設とともに加熱し温泉として利用開始。昭和 25 年 (1950) 7 月 30 日旅館が全焼、昭和 26 年 7 月「小浜温泉組合」を結成し今日に至る。昭和 31 年 (1956) 湯量増大さすため掘削、多量の湧出があったが、4 月 5 日埋め戻し、その後掘削し直し今日に至る。

小浜温泉補充に使われている湧水が JR 七騎坂トンネル入り口にある。この湧水は大正 5 年 (1916) ころ、鉄道開設工事により湧き出たもので、温泉成分を有する。鉄道宿舎に利用した後、小浜温泉の足し湯として利用している。今回われわれは踏査したが、水温はほぼ気温で、量はかなり多く、炭酸ガスが多く含まれることが認められた。

④ 湯ノ原温泉

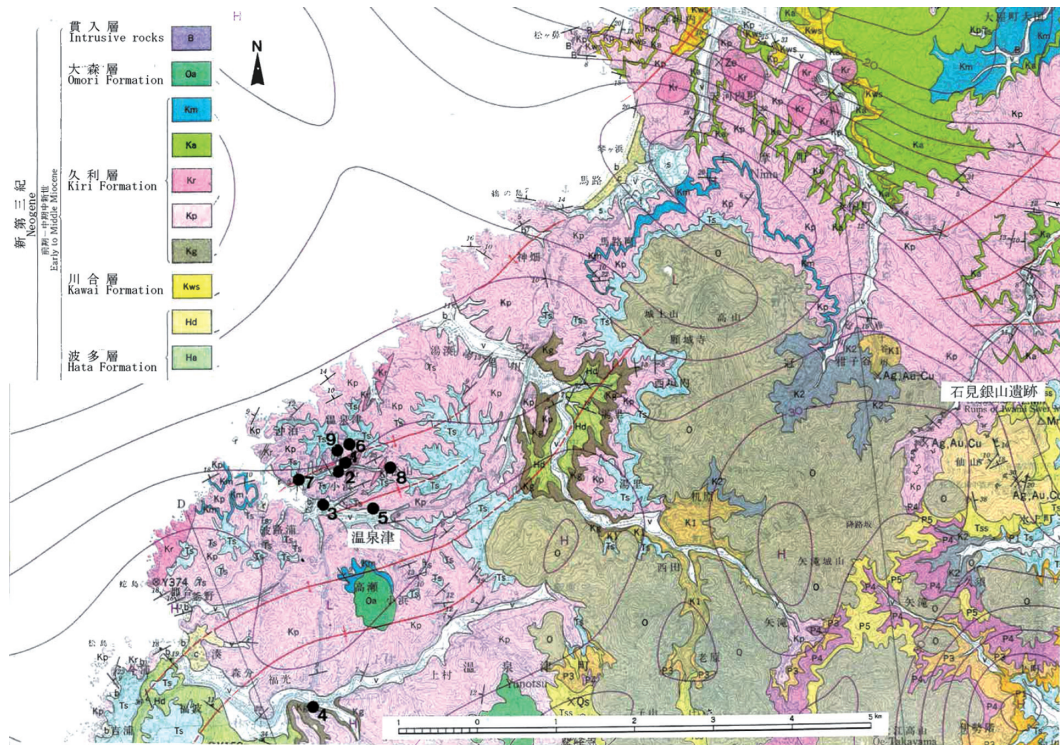


Fig. 1 The distribution of hot springs and related springs (●₁₋₈) are shown in the geological map (modified from Kano, *et al.*, 2001). ●₁₋₈ are described in the text.

泉質はナトリウム・カルシウム—塩化物・炭酸水素塩泉, 泉温 31.4℃, 湧出量は 12l/分. 温泉発見時期は不明である. 本田家が温泉として利用し, 旅館が営業されていた. 今回われわれが踏査した時に湧出状況のわかる額が残っていた. それによると崖面から出ており, その崖面の大部分は現在農地改良工事でなくなっているが, 温泉は元の状況のままに湧出している. 本田家から隣接する老人ホームに譲られ, 現在利用法が模索されている.

他に, 温泉津温泉と関係のある泉徴とみられるものには次の場所がある.

- ⑤ 商工会横小林軸薬付近 昭和初期より畑の石垣・石積から湧出 湧出量 5l/分, 温度 22~23℃.
- ⑥ 松山みそのハイツ付近.
- ⑦ ゆうゆう館付近.
- ⑧ 上町地区の観恵寺付近の小川沿い.
- ⑨ 湯町地区の龍沢寺裏.

3. 温泉地の周辺の地質・地質構造発達史

温泉津温泉周辺の地質・地質構造の発達はつぎのようにまとめられる. 鹿野ら (2001) の地質図 (Fig. 1) によると, 当地に分布する地層は新第三紀前期中新世の地層である.

温泉津の近辺では, 比較的小さい直径約 3km 程度のコールドロンが重力異常の結果から推定できる (志知・村田, 1997) (Fig. 2). このコールドロンの海水や淡水の湖や池の中に複数の噴出口を経て, 流紋岩質の高温の火山灰が噴出し, 水により火山灰の融点が下がり, 火山灰が再溶融して固化しながら移動する形で溶結凝灰岩としてそのくぼ地を埋めたものである. その後, ところどこ

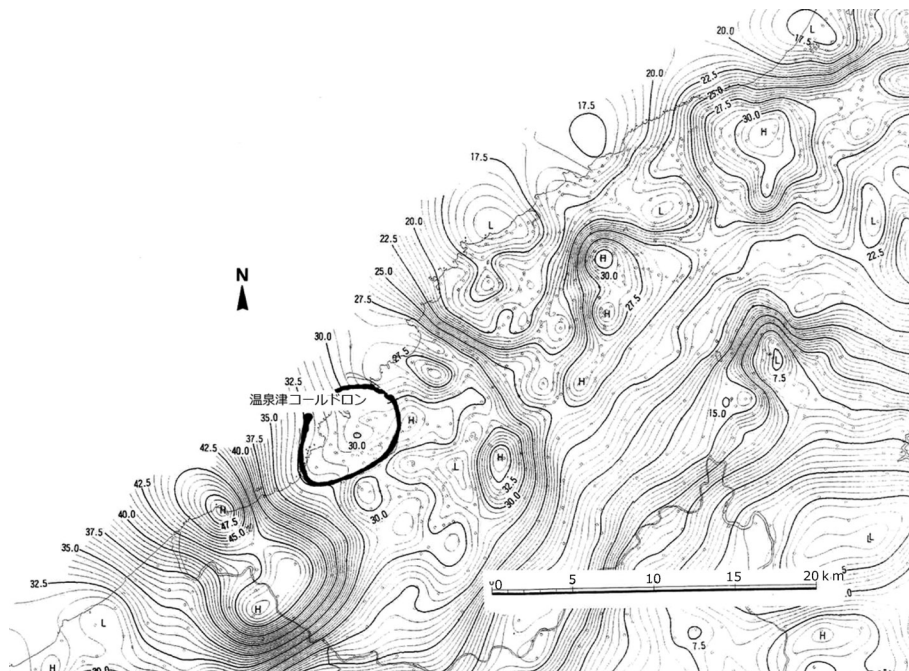


Fig. 2 Yunotsu caldron estimated from the Bouguer anomaly map of middle part of Shimane Prefecture (modified from Shichi and Murata, 1997) iso—Bouguer anomaly line are shown each 0.1 mgal.

ろで流紋岩質岩脈や岩頸が貫入した。日本海の生成の時期に当たり日本弧が現状の形になった頃である。その時、地殻下部が再溶融して花崗岩質マグマが生じた。その活動は 18Ma から始まり、ほぼ 14Ma までに固化が終了した (Otofuji and Matsuda, 1984)。

温泉津温泉域は、久利層 (Kp) とされ、流紋岩質火砕岩が主で、塊状または正常級化した火山礫凝灰岩とこれを被う細粒で淘汰の良い溶結凝灰岩とから成る。下部の火山礫凝灰岩には安山岩などの火山岩塊や礫がしばしば濃集している。それぞれの厚さは 2~20m で凝灰岩の部分は正級化し、軽石や異質の火山礫の量比の違いで示される。平行層理や斜交層理が明瞭である。

温泉津温泉の元湯のすぐ東側に貫入する岩脈は、鹿野ら (2001) で久利層 (Kr) 流紋岩溶岩及び貫入岩と推定されているが、この流紋岩質の貫入岩は久利層 (Kp) の流紋岩火砕岩や泥岩を貫き、その上にドーム状に群れをなして噴出していることがある。所により東北東—西南西もしくは北東—南西方向の断面がレンズ状の岩脈をなしているところ (元湯の東) もあるので貫入年代は Kr より貫入年代は下がる (適当な年代測定のできる試料はまだ得られていない)。それぞれの岩体の表面の近くではジグゾー割れ目が顕著で角礫岩様になっている (Fig. 3)。

元湯・震湯の近くの状況を述べると、これらの温泉水は流紋岩の岩脈 (Kr) の貫入による周辺の緩み域から湧出している。その酸性岩の K-Ar 年代、フィッショソ・トラック年代は 18~14Ma と古く日本海が出来た時の産物である。元湯の東側の岩脈の年代は適当な鉱物が見つからず求められていない。しかし、この近辺の鉱床の胚胎している岩脈は 2.2~1Ma であり、鹿野ら (2001) が考えられていたより、かなり若い年代に貫入したものであるとみられる。

温泉津の温泉街は、古くから開け、石見銀山の港町としても発達した町で、狭い谷が建造物で埋め尽くし、現在では湯泉津川は蓋をされた暗渠として流れている。物理探査は、この暗渠とほぼ平

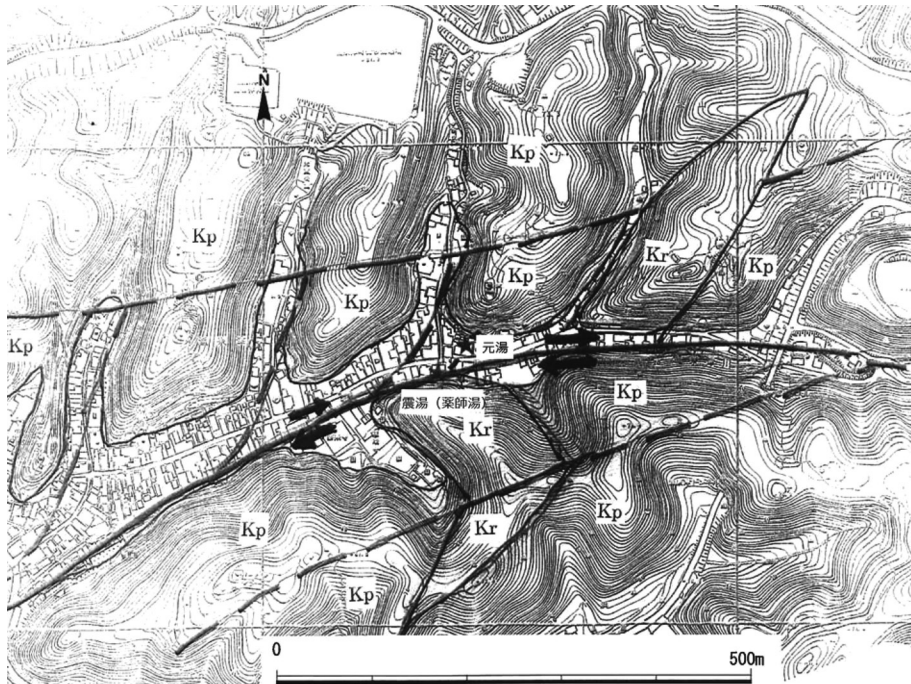


Fig. 3 Sketch geological map around Yunotsu hot springs. Kr (rhyolite dykes) are intruded in the Kp (rhyolite volcaniclastic rocks in Kuri Formation) with some lateral faults.

行に走る街路でしか探査の出来る場所がない。地質調査のボーリング、高密度水平探査はこの街道沿いでなされた。解析した断面 (Fig. 4) を示すと、元湯、震湯の断層との関係が伺われる。

現在、この周辺には火山活動がみられない。温泉水は Kp と Kr の境の緩み域をフィリピン海プレートからの脱水に由来する熱水が超臨界の二酸化炭素流体を含有して上昇してきて、ほぼ 1km 下部で二酸化炭素の超臨界流体のマイクロバブルとなり熱水に浮力をつけて上昇し (西村, 2013)、上部の小断層を通じて岩体の割れ目から湧出しているものと考えられる。この二つの湯成分がほとんど同じでわずかの湯温差から 10 数 m 下部であると推定できる。

また、この近くには、大森 (石見) 鉱山やその鉱染部が存在する。この鉱床は熱水鉱床であり、温泉津の温泉水の地下水に薄められる前の熱水と同質の熱水が鉱床を作ったとみられる。迫田ら (2000) は大森 (石見) 鉱山の鉱床を胚胎するデイサイトおよびデイサイト火砕岩、変質帯粘土を対象に測定された K-Ar 年代値 (金属事業団, 1991) をもとに、永久鉱床の形成年代を 1Ma、福石鉱床は、仙山火山噴出物 (2.2~1.8Ma) のすぐ後の I 型デイサイトの貫入に伴い発生した高 Fe、高 Mn の熱水によって形成されたとしている。

この温泉津温泉も塩類の含有量の多い塩化物泉であり、CO₂、He³ などを含む非火山性の温泉である。(著者が使用する用語の非火山性温泉とは火山活動とほぼ同時に湧出する温泉でなくここではコールドロン生成年代や岩脈・岩頸の貫入年代とは異なるときに湧出する高温泉を指している。)

この近辺で発生する深発地震面の地震は少ないが、弘瀬ほか (2007) によると温泉津のあたりはフィリピン海プレートの最先端部の上部でその深度は 60km 程度 (Fig. 5) で、熱水の発生の構造は、兵庫県の有馬温泉や和歌山県の南紀白浜温泉と類似している (西村, 2011; 西村ほか, 2009, 2010)。これらの関係から概念的な考えを Fig. 6 にまとめる。

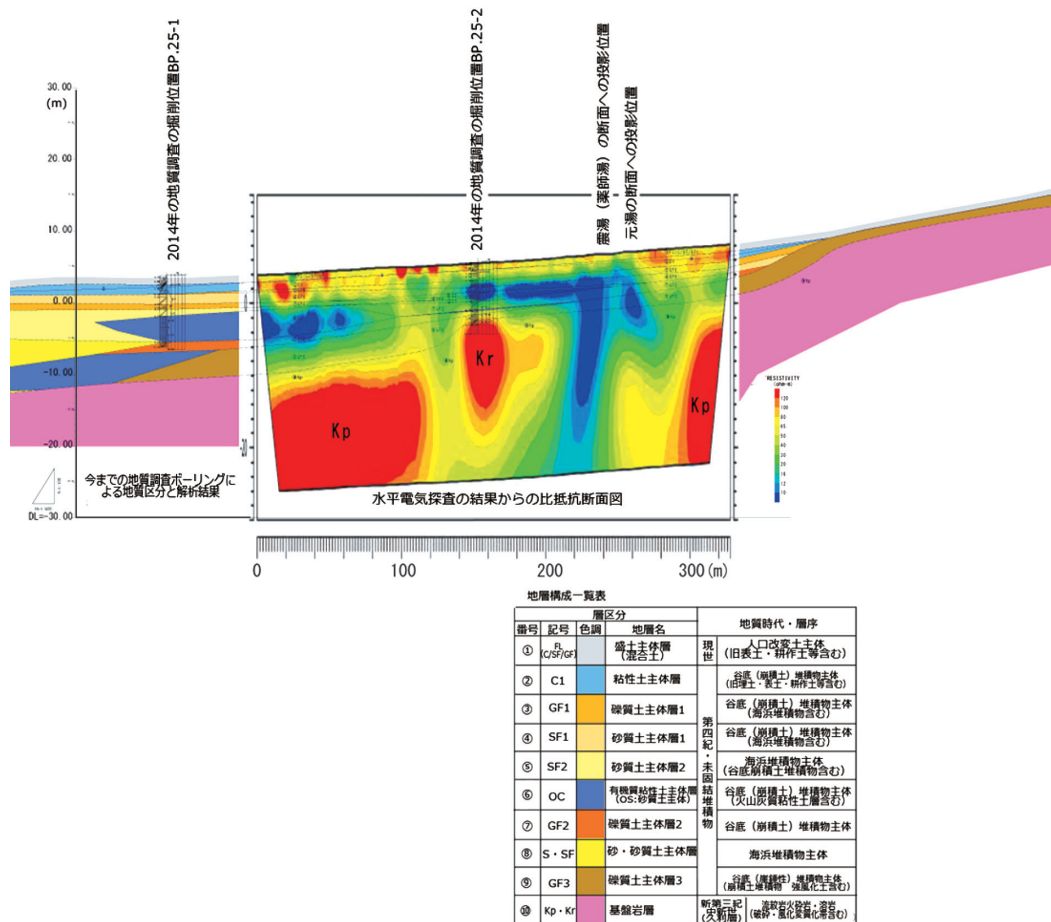


Fig. 4 Geological and geophysical section around Yunotsu hot springs along the road of Yunotsu hot springs using the results of geologic logging and resistivity section obtained by horizontal electrical prospecting (World Survey and Design Co., Ltd., 2010).

フィリピン海プレートは島根県津和野あたりから九州の東側豊後水道にかけては西北急傾斜で110~200 kmの深さに沈み込み、阿武単成火山群の火山活動及び大分県から鹿児島県にかけての火山活動に関連している。この議論はすでにしてしているのでここでは省く(西村, 2007; 中島, 長谷川, 2009)。

4. 元湯、震湯(薬師湯)の湧出の仕方

温泉津の温泉源は前項にまとめたように、非火山性であるが、沈み込みのスラブからの脱水が超臨界の状態でもントルや地殻下部を上昇し、数 km 深度で水が亜臨界の状態(熱水)になり、さらに約 1000 m 深度で二酸化炭素が超臨界状態からマイクロバルブの状態になりその浮力も働きさらに上昇を続ける。地表近くに至り天水起源の伏流水に薄められて岩盤の断層を通じて見かけの比重差で上昇し、10 数 m 下部で元湯と震湯(薬師湯)に分かれ、異なる活動の岩盤の小断層を通じて

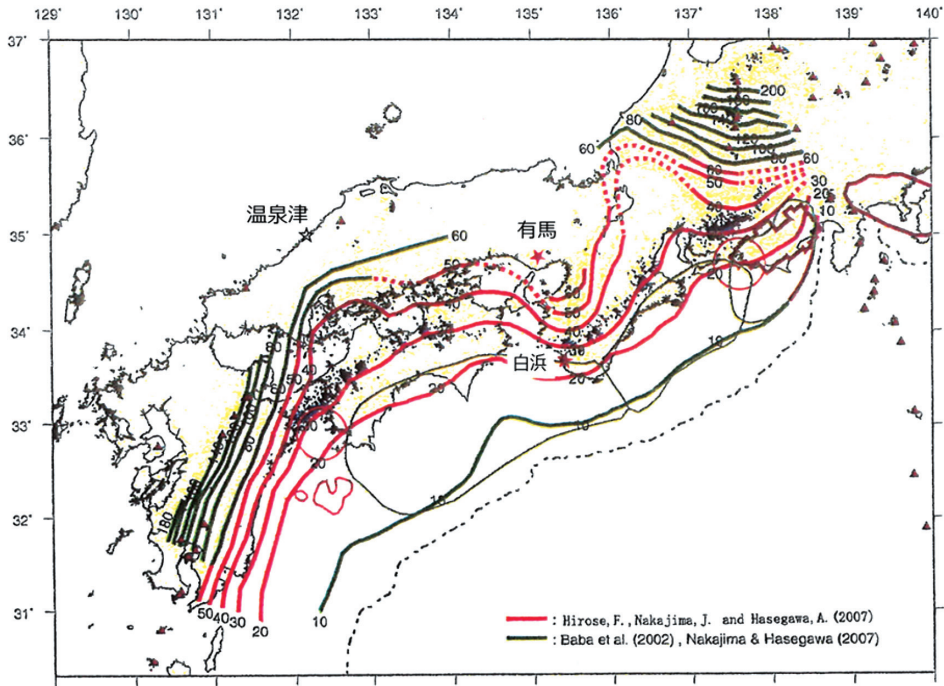


Fig. 5 Depth contour map of the upper boundary of the Philippine Sea slab, with intervals of 10–20 km. Note that the iso-depth contour of 10 km is taken from Baba *et al.* (2002) and iso-depth contours of 60–200 km taken from Nakajima and Hasegawa (2007) and Hirose *et al.* (2007).

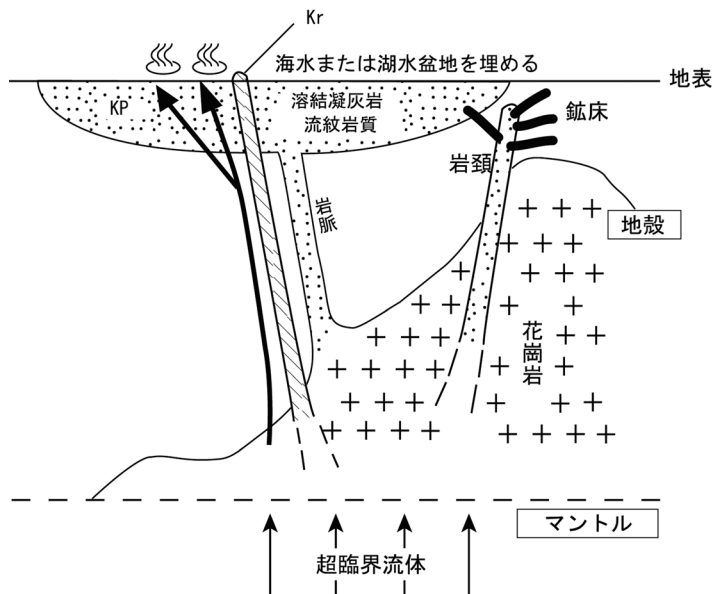


Fig. 6 A plausible model for the migration of hydrothermal solution and mineral deposits.

圧力差により湧出している。

前述のように、昭和 29 年 (1954) 震湯は町営温泉「藤の湯」と泉源名が変わり、旅館への分湯のため動力装置を設置した。その時、元湯の湧出量が激減したため訴訟になり、汲みあげることはしないで、現在のように自噴している湯をため、ポンプで各旅館に送り使用されている。これは、温泉津の元湯・薬師湯ともに、非常に透水性の低い岩盤の中の小断層または亀裂から二酸化炭素のガスの力で自噴しているので、強く吸引すると、二酸化炭素を自噴の方にまわさずに抜いてしまうことからそのような現象を起こしたものと推察される。

5. ま と め

温泉津の元湯・薬師湯 (震湯) は、日本海が拡大した時に地殻下部が再溶融し、酸性岩類の一連のミグマタイト (混成岩) の粘弾性体の岩体があり、その岩体から、何回か岩脈・岩頸として貫入した周辺の緩み域に、フィリピン海プレートの蛇紋岩からの脱水で生じた二酸化炭素を多く含む超臨界流体が上昇し、伏流水に薄められ、次第に温度が下がり、地殻上部の断層を通じて、湧出していると考えられる。

謝 辞

この研究の機会を与えて頂いた大田市や合併前の温泉津町に感謝する。さらにその機会や色々な参考意見などを頂いた元湯の伊藤昇介氏や薬師湯の経営者内藤夫妻に謝辞を述べたい。また、匿名の査読者から適切なご指摘をいただき改善できたことに感謝いたします。

引用文献

- Baba, T., Y. Tanioka, P.R. Cummins, and K. Uhira (2002): The slip distribution of the 1946 Nankai earthquake estimated from tsunami inversion using a new plate model, *Phys. Earth Planet. Inter.* **132**, 59-73.
- 弘瀬冬樹, 中島淳一, 長谷川昭 (2007): Double-Difference Tomography 法による西南日本の 3 次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定, *地震* **2**, **60**, 1-20.
- 鹿野和彦, 宝田普治, 牧本 博, 土谷信之, 豊遥秋 (2001): 湯野津及び江津地域の地質, *地域地質研究報告—5 万分の 1 地質図幅, 地質調査所*, 29 p.
- 金原啓司 (1992): 日本温泉・鉱泉分布図及び一覧, *地質調査所*, 394 p.
- 金属鉱業事業団 (1991): 平成 2 年度精密調査報告書「北島根地域」, 67 p.
- Matsuda, T. (1983): Fission-Track Geochronology and Tectonics of Late Cretaceous to Early Miocene Igneous Rocks in Central to West San'in, Southwest Japan, 135 p, Dr. Thesis of Kyoto University.
- Nakajima, J. and A. Hasegawa (2007): Subduction of the Philippine Sea Plate beneath southwest Japan: Slab geometry and its relationship to arc magmatism, *J. Geophys. Res.*, **112**, B08306, doi: 10.1029/2006/JB004770.
- 中島淳一, 長谷川昭 (2009): 地震波トモグラフィでみたスラブの沈み込みと島弧マグマ活動, *地震* **2**, 特集号, S177-S186.
- 西村 進 (2007): 島弧の地熱活動と沈み込みプレート—南九州とスマトラの地熱・温泉の類似性から—, *温泉科学*, **57**, 42-53.
- 西村 進 (2011): 近畿地方の高温泉とその地質構造, *温泉科学*, 481-491.

- 西村 進 (2013) : 温泉と地質構造④, 温泉, **81**, 27-29.
- 西村 進, 城森 明, 川崎逸男, 西田潤一, 桂 郁雄 (2010) : 近畿地方中・南部の高温泉とその地質構造 (2) 一白浜温泉と有馬温泉の電磁探査の結果から一, 温泉科学, **60**, 145-160.
- 西村 進, 桂 郁雄, 西田潤一 (2009) : 近畿地方中・南部の高温泉とその地質構造 (1) 一白浜温泉と有馬温泉の探査結果から一, 温泉科学, **59**, 103-111.
- 野口喜三雄 (1977) : 鳥根県温泉の化学, 温泉科学, **28**, 80-92.
- Otofujii, Y. and T. Matsuda (1984) : Timing of rotational motion of Southwest Japan inferred from paleomagnetism, Earth Planet. Sci. Lett., **70**, 373-382.
- 理科年表 (2012) : 1055 頁, 丸善, 東京.
- 迫田昌敏, 児玉敬義, 井上常史 (2000) : 鳥根県大森鉍山 (石見銀山) の Au-Cu-Ag 鉍化作用と K-Ar 年代, 資源地質, **50**, 45-60.
- 志知龍一, 村田泰章 (1997) : 鳥根県重力異常図, 新編鳥根県地質図 付図.
- 新編鳥根県地質図編集委員会 (1997) : 新編鳥根県地質図.
- 豊田英義 (1977) : 温泉科学会第 30 回大会の記, 温泉科学, 132-133.
- ワールド測量設計 (2010) : 平成 22 年度公共下水道事業 (温泉処理区) 管渠施設設計調査業務報告書 (水質結果検討箇所 - 抜粋), 平成 23 年 3 月.